

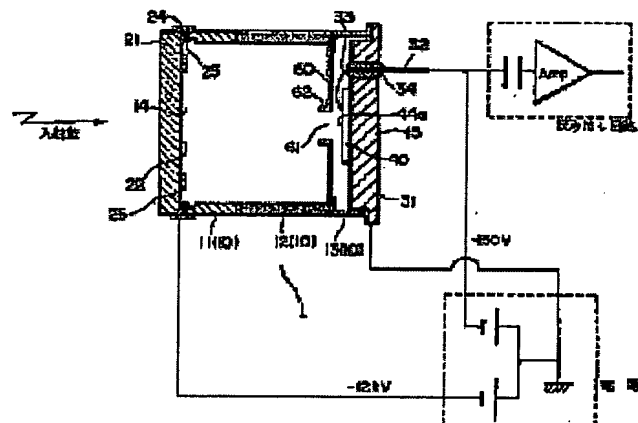
## ELECTRON TUBE

**Patent number:** JP9312145  
**Publication date:** 1997-12-02  
**Inventor:** SUYAMA MOTOHIRO; KIMURA SUENORI; SAITO TETSUYA; MORITA TETSUYA  
**Applicant:** HAMAMATSU PHOTONICS KK  
**Classification:**  
- **International:** *H01J43/12; H01J43/00;* (IPC1-7): H01J43/12  
- **European:**  
**Application number:** JP19960128723 19960523  
**Priority number(s):** JP19960128723 19960523

**Report a data error here**

## Abstract of JP9312145

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an electron tube capable of a stable operation over a long period of time. **SOLUTION:** In this electron tube, an opening area of an opening 61 of an anode electrode 60 is formed smaller than an incident area of an electron incident face 44a of a semiconductor device 40, the semiconductor device 40 is constituted so as to have an electron incident face 44a whose conductor type is (p) type and a board 41 whose conductor type is (n) type, electrically connect an (n) type board 41 to a system 31, have the anode electrode 60 and the system 31 with their same potential, and apply a reverse-bias to the semiconductor device 40.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-312145

(43)公開日 平成9年(1997)12月2日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 J 43/12

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 J 43/12

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平8-128723

(22)出願日 平成8年(1996)5月23日

(71)出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72)発明者 須山 本比呂

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72)発明者 木村 末則

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72)発明者 斉藤 哲哉

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

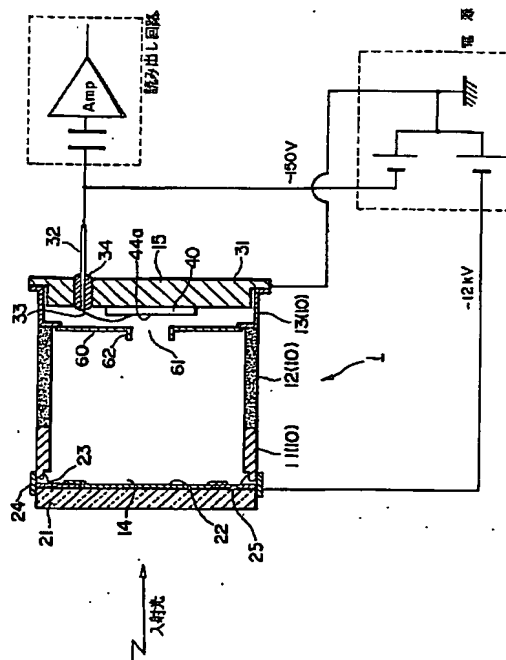
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電子管

(57)【要約】

【課題】 本発明は、長期に亘って安定した動作を可能にする電子管を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明による電子管において、アノード電極60の開口部61の開口面積は、半導体素子40の電子入射面44aの入射面積より小さく形成され、半導体素子40は、導電型がp型の電子入射面44aと導電型がn型の基板41とを有すると共に、n型の基板41を電氣的にステム31に接続し、アノード電極60とステム31とを同電位にし、半導体素子40に逆バイアスを印加する構成である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の開口と前記第 1 の開口と反対側に位置する第 2 の開口とを有すると共に絶縁性材料からなるケースと、

前記ケースの前記第 1 の開口側に設けられて、入射された光に対応して電子を放出する光電面をもった入力面板と、

前記ケースの前記第 2 の開口側に設けられて導電性材料からなるステムと、

前記ステムの真空側に位置して、前記光電面より放出した電子が照射される電子入射面を有する半導体素子と、  
前記半導体素子と前記光電面との間で前記半導体素子の近くに位置して、前記半導体素子に対峙させた開口部をもったアノード電極とを備えた電子管において、  
前記アノード電極の前記開口部の開口面積は、前記半導体素子の前記電子入射面の入射面積より小さく形成され、

前記半導体素子は、導電型が p 型の前記電子入射面と導電型が n 型の基板とを有すると共に、前記 n 型の前記基板を電氣的に前記ステムに接続し、

前記アノード電極と前記ステムとを同電位にし、前記半導体素子に逆バイアスを印加することを特徴とする電子管。

【請求項 2】 前記アノード電極において、前記アノード電極の前記開口部と同心的に配置した円筒状のコリメーター部を、前記光電面に向けて突設させたことを特徴とする請求項 1 記載の電子管。

【請求項 3】 前記アノード電極の前記開口部内に導電性のメッシュ電極を配置したことを特徴とする請求項 1 記載の電子管。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、微弱な光を定量的に計測するための光検出器として利用され、特に、光電面より放出された電子を増倍して出力する半導体素子をもった電子管に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、光の入射によって光電面より放出された電子を、電子レンズで加速・収束した後、半導体素子に入射して高いゲインを得る電子管が知られている。この電子管は、例えば、特開平 5-54849 号公報、特開平 6-318447 号公報、特開平 7-320681 号公報、US 5475227 号公報などに開示されている。特に、US 5475227 号公報には、半導体素子に入射する電子によって半導体素子の電子入射面に吸着したガス分子がイオンとなり、これが光電面に向けて加速されてフィードバックし、光電面を著しく劣化させる現象に対して、これを防止するための構造が開示されている。具体的には、半導体素子の直前に半円筒状のイオン偏向電極を配置し、半導体素子の電子入射面上

で発生したイオンの軌道を曲げて、イオンが光電面には戻らない構成としている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述の US 5475227 号公報に開示された発明において、半導体素子から発生したイオンは、その軌道が曲げられることで光電面にフィードバックしないので、光電面の劣化は防げるものの、曲げられたイオンが絶縁性の側壁に衝突して安定な動作が得られないという問題があった。その理由として、イオンの衝突によって絶縁性の側壁から二次電子が放出して側壁が正に帯電し、光電面から半導体素子に向かう電子の軌道に影響を与えるからである。特に、従来例の構成では、側壁の特定部位だけがイオンの衝突によって帯電するので、電子レンズは著しく非対称になり、電子の軌道は大きく曲げられる。また、イオンの衝突によって発生した二次電子が、半導体素子に入射して疑似信号を発生したり、迷走して新たな不安定さを生じさせる問題があった。

【0004】本発明は、上述の課題を解決するためになされたもので、特に、長期に亘って安定した動作を可能にする電子管を提供することを目的とする。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明による電子管は、第 1 の開口と第 1 の開口と反対側に位置する第 2 の開口とを有すると共に絶縁性材料からなるケースと、ケースの第 1 の開口側に設けられて、入射された光に対応して電子を放出する光電面をもった入力面板と、ケースの第 2 の開口側に設けられて導電性材料からなるステムと、ステムの真空側に位置して、光電面より放出した電子が照射される電子入射面を有する半導体素子と、半導体素子と光電面との間で半導体素子の近くに位置して、半導体素子に対峙させた開口部をもったアノード電極とを備えた電子管において、アノード電極の開口部の開口面積は、半導体素子の電子入射面の入射面積より小さく形成され、半導体素子は、導電型が p 型の電子入射面と導電型が n 型の基板とを有すると共に、n 型の基板を電氣的にステムに接続し、アノード電極とステムとを同電位にし、半導体素子に逆バイアスを印加することを特徴とする。

【0006】この電子管においては、外部から入力面板に入射した光は光電面によって電子に変換され、アノード電極の開口部を通過した後、半導体素子の電子入射面に達する。このとき、電子入射面では正イオンが発生する。そして、半導体素子の電子入射面に対してアノード電極は正電位となり、電子入射面で発生した正イオンにとって逆バイアスになるので、発生した正イオンは、アノード電極の開口部を通過して、光電面やケースに戻ることができない。

【0007】この場合、アノード電極において、アノード電極の開口部と同心的に配置した円筒状のコリメータ

一部を光電面に向けて突設させると好ましい。半導体素子（例えばAPD）を利用するにあたって、コリメーター部をアノード電極に設けることで、光電面からアノード電極の開口部を越えて半導体素子に向かう電界の侵入を最小限に抑えることができ、イオンフィードバックを極めて効果的に抑制することができる。

【0008】また、アノード電極の開口部内に導電性のメッシュ電極を配置すると好ましい。半導体素子（例えばPD）を利用するにあたって、メッシュ電極をアノード電極に設けることで、光電面からアノード電極の開口部を越えて半導体素子に向かう電界の侵入を最小限に抑えることができ、イオンフィードバックを極めて効果的に抑制することができる。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、図面と共に本発明による電子管の好適な実施形態について詳細に説明する。

【0010】図1は、本発明に係る電子管の第1実施形態を示す断面図である。同図に示すように、電子管1は、絶縁性材料からなる円筒状のケース10を有し、このケース10は、内径及び外形が共に等しく互いに突き合わせて固定させた中空円筒状のコパル製カソード電極11及びセラミック部12と、両者に対して同心円形状を有すると共にセラミック部12に固定された溶接フランジ部13とからなっている。そして、カソード電極11とセラミック部12と溶接フランジ部13とは、ろう付けにより一体化が図られている。なお、後述する電子レンズを考慮すると、ケース10が、外径15mm、内径12mm、全長13mmの寸法を有するとき、カソード電極11の長さは5mmが好適である。

【0011】ケース10のカソード電極11には、光を透過させるガラス製の入力面板21が固設され、この入力面板21は、内側に光電面22を有すると共に、ケース10の一側に形成された第1の開口14側に配置されている。そして、この入力面板21は、光電面22を作製後、インジウム23を介してカソード電極11に一体化されている。光電面22の周辺部分には、光電面22とインジウム23とを電気的に接続するように、クロムの薄膜よりなる光電面電極25が配置されている。そして、光電面電極25の内径8mmが光電面22の有効径を規定している。また、インジウム23は、中空円筒状の支持体24の内側面で突出するように形成されている。そして、カソード電極11の上にインジウム23、入力面板21の順に配置し、カソード電極11と入力面板21とを互いに押し付けることにより、インジウム23が変形して接着剤として機能し、入力面板21はケース10と一体化される。

【0012】ケース10の溶接フランジ部13には、導電性材料（例えばコパル金属）よりなる円盤状のステム31が固設され、このステム31は、ケース10の他側に形成された第2の開口15側に配置されている。こ

のステム31にはガラス34で絶縁された貫通ピン32が固定され、ステム31は、その周辺部分で溶接フランジ部13に抵抗溶接され、ケース10と一体化されている。従って、電子管1は、ケース10と入力面板21とステム31とで一体化され、真空気密を保持している。

【0013】図2に示すように、ステム31における真空側の面上には、APD（アバランシェ・フォトダイオード）として動作する半導体素子40が導電性の接着剤50を介して固着されている。半導体素子40は、n型の高濃度シリコン基板41を基板材料とし、中央部分には円板状でp型のキャリア増倍層42が形成されている。このキャリア増倍層42の外周には、キャリア増倍層42と同じ厚さで高濃度n型層よりなるガードリング層43が形成されている。キャリア増倍層42の表面には、高濃度p型層よりなる降伏電圧制御層44が形成されている。この降伏電圧制御層44の表面は電子入射面44aとして形成され、降伏電圧制御層44の周辺部分とガードリング層43とを架け渡すように、酸化膜45及び蒸化膜46が形成されている。降伏電圧制御層44にアノード電位を供給するために、半導体素子40の最外面には、円環状にアルミを蒸着して形成された入射面電極47が設けられている。更に、半導体素子40の最外面には、ガードリング層43と導通する周辺電極48が設けられ、この周辺電極48は、入射面電極47に対して所定の間隔をもって離間させられている。なお、電子入射面44aの直径は入射面電極47の内方で3mmが好適である。

【0014】この半導体素子40の高濃度n型シリコン基板41は導電性接着剤50を介してステム31に固着され、この導電性接着剤50を利用することで、ステム31と高濃度n型基板41とは電気的に導通する。また、半導体素子40の入射面電極47は、ステム31と絶縁させた貫通ピン32に対してワイヤー33により接続されている。

【0015】図1及び図2に示すように、半導体素子40と光電面22との間には板状のアノード電極60が配置され、このアノード電極60は溶接フランジ部13に固定されると共に、半導体素子40に近い側に位置している。なお、アノード電極60と半導体素子40との間隔は1mmが好適である。このアノード電極60の中央には、半導体素子40の電子入射面44aに対峙させた開口部61が形成され、アノード電極60には、開口部61を包囲するように突出した円筒状のコリメーター部（コリメーター電極）62が一体に形成され、このコリメーター部62は、光電面22に向けて突出すると共に、開口部61に対して同心的に配置されている。また、この開口部61の直径は2mmであり、コリメーター部62の内径は2mmで高さは1mmである。

【0016】ここで、アノード電極60の開口部61の直径（2mm）を電子入射面44aの直径（3mm）よ

り小さくしたのは、半導体素子40の不要な部分、つまり電子入射面44aの周辺部分に電子が入射して、酸化膜45や窒化膜46を帯電させたり、pn接合界面や半導体(44)と金属電極(47)の接触面にダメージを与えて、素子特性を劣化させたりするのを防止するためである。また、アノード電極60にコリメーター部62を追加するのは、光電面22から開口部61を越えて半導体素子40に向かう電界の進入を最小限に抑え、後述するイオンフィードバックを抑制する効果を向上させるためである。さらに、コリメーター部62は、光電面22の周辺部分より放出して半導体素子40に斜めに入射しようとする電子の方向を垂直方向に戻す働きがある。電子が半導体素子40に斜めに入射すると、半導体素子40のデッド層(降伏電圧制御層44の上層部分)をより長い行程で横切ようになるため、入射電子が空乏層まで到達する割合が減少し、増倍ゲインは小さくなる。そこで、コリメーター部62を追加して電子の軌道を修正することで、増倍ゲインの電子放出位置に依存するばらつきが抑制される。なお、アノード電極60は、厚さ0.3mmのステンレス板をプレスして形成する。また、アノード電極60は、溶接フランジ部13と一体で形成しても良い。

【0017】次に、前述した構成の電子管1の組立てについて説明する。まず、ステム31に半導体素子40をダイボンドし、続いて、ワイヤー33にて入射面電極47と貫通ピン32を結線する。一方、ケース10の溶接フランジ部13には、アノード電極60を抵抗溶接にて固着し、溶接フランジ部13とステム31とを抵抗溶接にて固着させる。そして、入力面板21、インジューム23及びステム31を一体化したケース10とを、別体にした状態でトランスファー装置と呼ばれる真空装置に入れ、300℃、10時間程度のベーキングを施した後、入力面板21の片側に光電面22を作製する。その後、入力面板21とケース10は、インジューム23を介して真空中で一体化され、電子管1を真空気密状態にする。最後に、トランスファー装置の真空をリークして、一連の行程を終了する。

【0018】図1に示すように、電子管1の光電面22及びカソード電極11には-12kVを印加し、アノード電極60はアースして0Vを印加する。このとき、カソード電極11、アノード電極60は電子レンズを形成し、有効径8mmの光電面22から放出された電子は、コリメーター部62の内径より小さい直径1.5mmに縮小して半導体素子40の電子入射面44aに導入される。一方、半導体素子40にはpn接合に逆バイアスが印加されるように、半導体素子40の降伏電圧制御層(アノード)44に-150Vを印加し、シリコン基板41(カソード)をアースして0Vを印加する。従って、APDには約50倍のアバランシェ増倍ゲインが得られる。

【0019】そこで、電子管1に光が入射すると、光電面22から真空中に電子が放出され、この電子は電子レンズにて加速されると共に収束されて、12keVのエネルギーを有してAPD40の電子入射面44aに入射する。この電子は、APD40内でエネルギーを3.6eV失う毎に1ケずつの電子-正孔対を生成するので、この最初の増倍過程で約3000倍になり、続くアバランシェ増倍でさらに50倍になるので、トータルで約 $2 \times 10^5$ のゲインとなる。

【0020】この電子管1では、通常の光電子増倍管(以下「PMT」という)に比べて、初段の増倍率が3000と、約3桁高いので、S/Nの非常によい検出が可能である。現に、非常に微弱なパルス光が入射して、平均4電子程度が光電面22から放出されたとき、従来のPMTでは、弁別できなかった入力光電子数(入射光子数)を弁別できるようになった。前述した電子管1で得られるこのような特性は、生体微量物質から放出される蛍光を定量的に観察する際に非常に有効である。そして、電子管1自体が、長期に渡って安定に動作することは非常に重要なことである。

【0021】本実施形態における電子管1において、半導体素子40の電子入射面44aには、貫通ピン32、ワイヤー33及び入射面電極47を介して電源から-150Vが印加されている。一方、アノード電極60には、溶接フランジ部13を介して0Vが印加されている。即ち、半導体素子40の電子入射面44に対してアノード電極60は正電位となる。このことは、電子入射面44aで発生した正イオンにとって逆バイアスになるので、発生した正イオンは、アノード電極60の開口部61を通して、光電面20やケース10に戻ることができない。

【0022】すなわち、前述した電子管1において、電子入射面44aに対してアノード電極60が正電位、即ち、電子入射面44aで発生した正イオンに対して逆電位に保たれるため、電子入射面44aで発生したこのような正イオンは、アノード電極60を越えて、光電面22やケース10の絶縁部分に戻ることができない。したがって、電子管1の光電面22は、このようなイオンのフィードバックの影響を受けないので、長時間の動作に対して劣化することはない。さらに、正イオンはケース10の絶縁部分にも戻らないので、ケース10を帯電させることもなく、光電面22から放出して半導体素子40に至る電子の軌道に影響を与えたり、ケース10から二次電子を放出して疑似信号を発生することはない。従って、電子管1では、長期に渡って非常に安定した動作を実現している。

【0023】なお、仮に、半導体素子40の電子入射面44aで発生したイオンが光電面22に戻るとすると、正イオンは、光電面22と電子入射面44aとの電位差により約12keVという高いエネルギーをもって光電

面22に戻るため、光電面22の構成材料が正イオンによってスパッタされることになる。したがって、電子入射面44aで発生したイオンが光電面22に戻る状況では、短時間の動作で光電面感度は著しく劣化することになる。

【0024】次に、図3～図6に基づいて本発明に係る電子管100の第2実施形態を説明する。なお、以下、第1実施形態との相違点について説明すると共に、図面において、同一又は同等の構成部分については同一の符号を付す。

【0025】図3に示すように、カソード電極18が2mm程度と短く、絶縁性のケース90の中間には、2ヶ所に中間フランジ15a、15bが挿入されている。また、半導体素子80として電子入射面積の大きいPDを使用し、アノード電極70に面積の大きい開口部71を形成し、この開口部71に格子状のメッシュ電極72を配置している。そして、カソード電極18を短くすることで、有効径8mmの光電面22から放出した電子をほとんど収束させずに半導体素子80に導くような電子レンズを構成することができる。さらに特定するなら、電子管100は、ケース90の中心を通る管軸線方向における2T（テスラ）程度の強磁界中で使用されることを想定している。

【0026】このような強磁場中では、電子の進行方向は磁界の向きによって決められてしまうため、電界は単に電子を加速するだけにしか使えない。即ち、電界による電子レンズを形成することが不可能となり、実質的な光電面22の有効径は、アノード電極70の開口部71或いは後述する半導体素子80の電子入射面84a（図6参照）で制限されることになる。そこで、極力大きな光電面22の有効径を確保するために、大きな開口部71を有するアノード電極70と大きな電子入射面84aを有する半導体素子80が共に必要となる。このような使用条件は、加速器を使用した高エネルギー実験等で要求されている。

【0027】また、絶縁性のケース90に中間フランジ15a、15bを挿入したのは、ケース90の帯電による不安定さを軽減するためであり、中間フランジ15a、15bには、光電面22への電圧-12kVを均等に分配した-8kV、-4kVが印加されている。

【0028】図4及び図5に示すように、アノード電極70の開口部71には、格子状のメッシュ電極72が配置され、このようなメッシュ電極72は、ステンレス製のアノード電極70を部分的にエッチングすることで作り出される。この場合、メッシュ電極72の線幅は50ミクロンで、ピッチは1.5mmである。電子は、このようなメッシュ電極72の開口率（93%）の分だけ透過する。

【0029】アノード電極70の開口部71にメッシュ電極72を設けた理由としては、アノード電極70の開

口部71を半導体素子80の電子入射面84aに合わせ大きくしたためである。すなわち、アノード電極70の開口部71を大きくすると、光電面22側のマイナスの電位の谷が開口部よりしみこんで、半導体素子80の電子入射面84aで発生した正イオンのフィードバックを抑制させる効果が低減するためである。そこで、メッシュ電極72を追加すると光電面22からのマイナスの電位が電子入射面84側に侵入するのを防止できるので、イオンのフィードバック抑制効果を維持することができる。なお、アノード電極70の開口部71の最大径はPD80の電子入射面84aより小さくなっている。

【0030】図6に示すように、PDである半導体素子80は、高抵抗n型ウェファの裏面からn型の不純物であるリンを高濃度に深く拡散させた拡散ウェファを基板材料とし、裏面がn型高濃度コンタクト層81となった高抵抗n型基板82の表面の周辺部分にリンを高濃度にイオン注入して形成したn型チャンネルストップ層83を有している。また、基板82の表面の中央部分には、ボロンを高濃度に拡散して形成した円板状のp型入射面層（降伏電圧制御層）84が形成され、入射面層84の周辺部分には、チャンネルストップ層83の表面を覆う酸化膜85及び窒化膜86が設けられている。更に、入射面層84には、これに接触して入射面層84に電圧を供給するアルミ膜の入射面電極87が設けられ、入射面電極87と離間した位置には、チャンネルストップ層83と接触しているアルミ膜の帯電防止電極88が設けられている。このPD80の電子入射面84aは、実質的には、入射面電極87の内径で規定されている。

【0031】そこで、このような電子管100の光電面22に-12kVを印加し、アノード電極70に0Vを印加すると、半導体素子80のコンタクト層81はアノード電極70と同電位なので0Vが与えられ、電子入射面84aは、貫通ピン32、ワイヤー33及び入射面電極87を介して-50Vが与えられる。ここで、この電子管100の入射光に対する動作は、第1実施形態と同様である。そして、メッシュ電極72を開口部71に配置させることで、アノード電極70の開口部71を大きくしてもイオンフィードバックを適切に抑制することができる。即ち、アノード電極70の開口部71を大きくした場合でも、メッシュ電極72が存在することにより、マイナスにバイアスされた光電面22からの低電位の谷がアースされたアノード電極70の開口部71を越えて電子入射面84aの側に進入する電界のしみこみを抑制できるので、電子の入射により電子入射面84aでイオン化したガス分子が開口部71を越えて光電面22やケース90に戻るのを有効に抑制することができる。

【0032】前述した第2実施形態の光電管100は入力面板21の受光面が大きく、高磁界中で、長期に渡って安定動作し、加速器を使った高エネルギー実験で使用される。

【0033】

【発明の効果】本発明による電子管は、以上のように構成されているため、次のような効果を得る。

【0034】すなわち、アノード電極の開口部の開口面積は、半導体素子の電子入射面の入射面積より小さく形成され、半導体素子は、導電型がp型の電子入射面と導電型がn型の基板とを有すると共に、n型の基板を電氣的にステムに接続し、アノード電極とステムとを同電位にし、半導体素子に逆バイアスを印加することにより、長期に亘って安定した動作を可能にする電子管が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る電子管の第1実施形態を示す断面図である。

\*

\*【図2】図1の電子管の要部を示す断面図である。

【図3】本発明に係る電子管の第2実施形態を示す断面図である。

【図4】図3の電子管に適用するメッシュ電極を示す拡大平面図である。

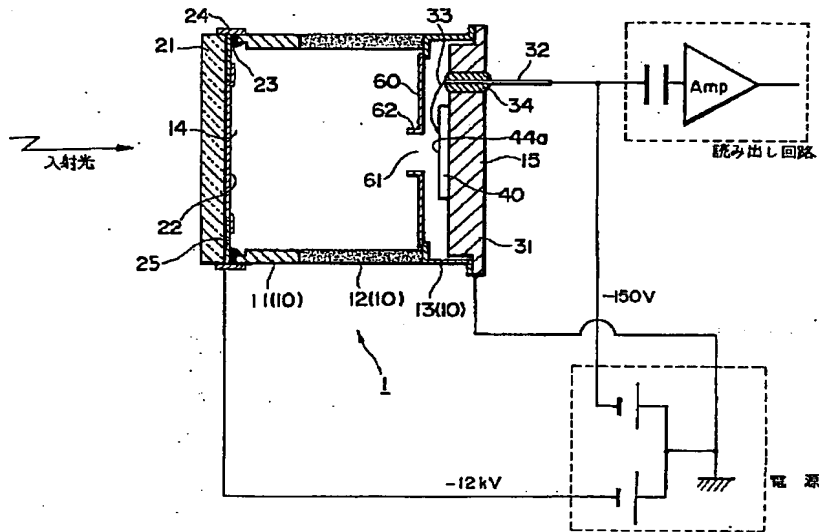
【図5】図4のV-V線に沿う断面図である。

【図6】図3の電子管の要部を示す断面図である。

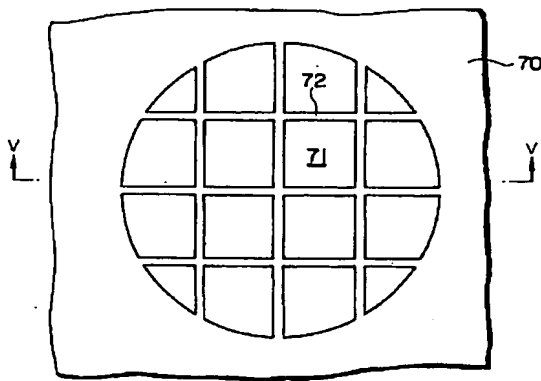
【符号の説明】

10、90…ケース、14…第1の開口、15…第2の開口、21…入力面板、22…光電面、31…ステム、40、80…半導体素子、41、82…基板、44a、84a…電子入射面、50…接着剤、60、70…アノード電極、61、71…開口部、62…コリメーター部、72…メッシュ電極。

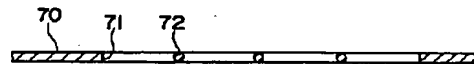
【図1】



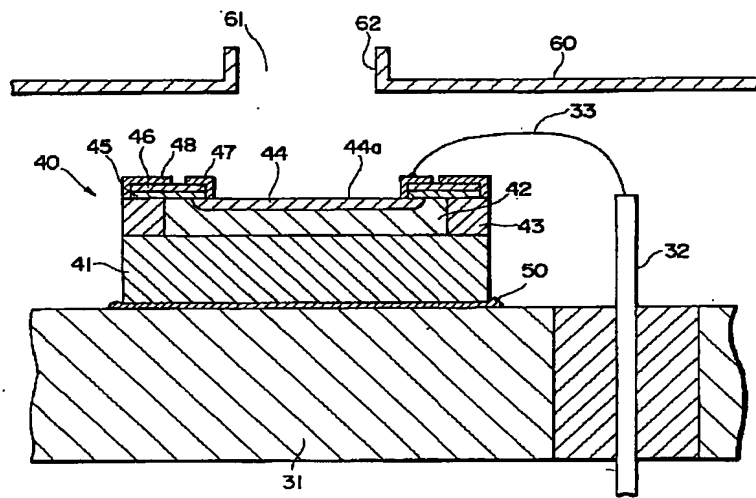
【図4】



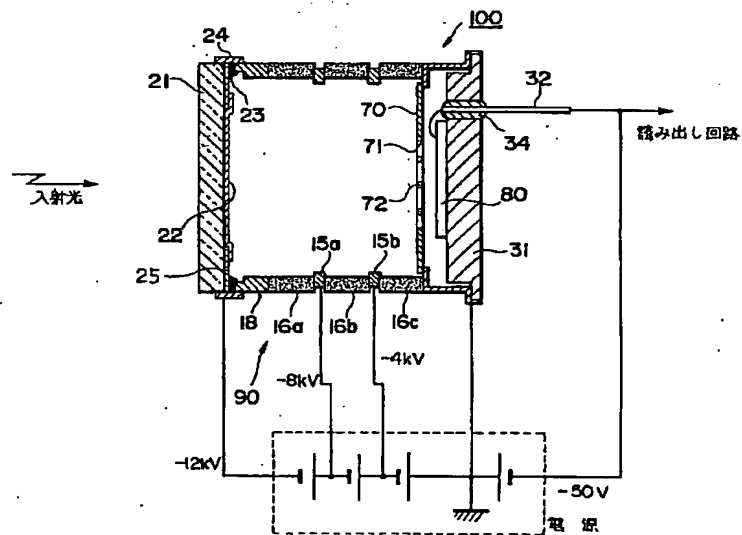
【図5】



【図2】

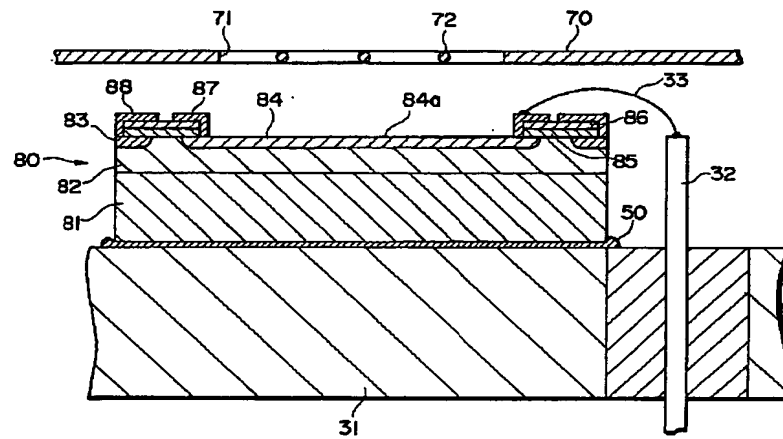


【図3】





【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 森田 哲家  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内